

PUB-NO: JP410324952A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 10324952 A

TITLE: HEAT TREATED STEEL PRODUCT HAVING HIGH STRENGTH AND HIGH TOUGHNESS AND EXCELLENT IN MACHINABILITY

PUBN-DATE: December 8, 1998

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

WATARI, KOJI

OKADA, YASUTAKA

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

SUMITOMO METAL IND LTD

APPL-NO: JP09094166

APPL-DATE: April 11, 1997

INT-CL (IPC): C22C 38/00; C22C 38/60

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a steel product having extremely superior balance between strength and toughness, excellent in machinability at respective strength levels after hardening and tempering, and suitably used as a stock for parts for machine structural use, etc.

SOLUTION: This steel product has a composition consisting of, by weight, 0.1-0.6% C, 0.05-1.5% Si, 0.4-2.0% Mn, 0.002-0.2% S, 0.04-1.0% Ti, 0.005-0.05% Al, 0.008% N, 0-2.0% Cr, 0-0.3% V, 0-0.05% Nb, 0-0.5% Mo, 0-1.0% Cu, 0-2.0% Ni, 0-0.02% B, 0-0.1% Nd, 0-0.50% Pb, 0-0.01% Ca, 0-0.5% Se, 0-0.05% Te, 0-0.4% Bi, and the balance Fe with inevitable impurities and satisfying Ti(%) / S(%) ≥ 2 . Further, this steel product has a structure where martensite comprises $\geq 50\%$ and the grain size of old austenite grains is regulated to JIS grain size number 5 or above.

COPYRIGHT: (C)1998,JP0

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-324952

(43) 公開日 平成10年(1998)12月8日

| | | |
|---------------------------|-------|---------------|
| (51) Int.Cl. ⁶ | 識別記号 | F I |
| C 2 2 C 38/00 | 3 0 1 | C 2 2 C 38/00 |
| 38/60 | | 3 0 1 M |
| | | 38/60 |

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 14 頁)

| | | | |
|--------------|-----------------|----------|--|
| (21) 出願番号 | 特願平9-94166 | (71) 出願人 | 000002118 住友金属工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号 |
| (22) 出願日 | 平成9年(1997)4月11日 | (72) 発明者 | 渡里 宏二 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号住 友金属工業株式会社内 |
| (31) 優先権主張番号 | 特願平9-77346 | (72) 発明者 | 岡田 康孝 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号住 友金属工業株式会社内 |
| (32) 優先日 | 平9(1997)3月28日 | (74) 代理人 | 弁理士 森 道雄 (外1名) |
| (33) 優先権主張国 | 日本 (J P) | | |

(54) 【発明の名称】 被削性に優れた高強度高靱性調質鋼材

(57) 【要約】

【課題】極めて良好な強度-靱性バランスを有し、しかも焼入れ焼戻し後の各々の強度レベルで被削性が良好な、機械構造部品などの素材用として好適な鋼材を提供する。

【解決手段】C: 0.1~0.6%、Si: 0.05~1.5%、Mn: 0.4~2.0%、S: 0.002~0.2%、Ti: 0.04~1.0%、Al: 0.005~0.05%、N: 0.008%以下、Cr: 0~2.0%、V: 0~0.3%、Nb: 0~0.05%、Mo: 0~0.5%、Cu: 0~1.0%、Ni: 0~2.0%、B: 0~0.02%、Nd: 0~0.1%、Pb: 0~0.50%、Ca: 0~0.01%、Se: 0~0.5%、Te: 0~0.05%、Bi: 0~0.4%、Ti/S \geq 2、残部はFe及び不純物の組成で、組織の50%以上がマルテンサイトで、且つ、旧オーステナイト粒がJ I S粒度番号5以上である高強度高靱性調質鋼材。

【特許請求の範囲】

【請求項1】重量％で、C：0.1～0.6％、Si：0.05～1.5％、Mn：0.4～2.0％、S：0.002～0.2％、Ti：0.04～1.0％、Al：0.005～0.05％、N：0.008％以下、Cr：0～2.0％、V：0～0.3％、Nb：0～0.05％、Mo：0～0.5％、Cu：0～1.0％、Ni：0～2.0％、B：0～0.02％、Nd：0～0.1％、Pb：0～0.50％、Ca：0～0.01％、Se：0～0.5％、Te：0～0.05％、Bi：0～0.4％、下記①式で表される f_{n1} が2以上、残部はFe及び不可避不純物の組成であって、組織の50％以上がマルテンサイトで、且つ、旧オーステナイト粒がJIS粒度番号5以上であることを特徴とする被削性に優れた高強度高靱性調質鋼材。

$$f_{n1} = \text{Ti}(\%) / \text{S}(\%) \cdots \cdots \text{①}$$

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は被削性に優れた高強度高靱性調質鋼材に関する。更に詳しくは、焼入れ焼戻し後に極めて優れた強度－靱性バランスを有するとともに被削性にも優れた機械構造部品などの素材として好適な調質鋼材に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、極めて良好な強度－靱性バランスを必要とする機械構造部品などは、①熱間加工で所定の形状に粗加工し、次いで、切削加工によって所望形状に仕上げた後、焼入れ焼戻しの調質処理を施すか、②熱間加工及び焼入れ焼戻し処理を施した後、切削加工によって所望形状に仕上げるのが一般的であった。しかし、機械構造部品などが高強度化するに伴って、切削加工のコストが高んできた。そこで、切削加工を容易にし、低コスト化を図るために被削性に優れた快削鋼に対する要求がますます大きくなっている。

【0003】鋼にPb、Te、Bi、Ca及びSなどの快削元素を単独あるいは複合添加すれば被削性が向上することは周知の事実である。このため、従来は機械構造用鋼を初めとする鋼に前記の快削元素を添加して切削加工性を改善する方法が採られてきた。しかし、機械構造用鋼などに単に快削元素を添加しただけの場合には、所望の機械的特性、なかでも靱性を確保できないことが多い。

【0004】こうした状況の下、上記①の熱間加工後に切削加工してから焼入れ焼戻し処理を施す技術として、例えば、特開平2-111842号公報と特開平6-279849号公報に、鋼中のCを黒鉛として存在させ、この黒鉛の切欠き並びに潤滑効果を利用することによって被削性を向上させた「被削性、焼入性に優れた熱間圧延鋼材」と「被削性に優れた機械構造用鋼の製造方法」がそれぞれ提案されている。

【0005】しかし、特開平2-111842号公報に提案された鋼材は、Bを添加しB窒化物(BN)を黒鉛化の核として黒鉛化を促進させるものであって、Bの添加が必須であるため凝固時に割れを生じ易いという問題を含んでいる。一方、特開平6-279849号公報に記載の方法は、Al添加とともに鋼中O(酸素)を低く規制することで熱間圧延ままで黒鉛化を促進させるものであるが、熱間圧延後に5時間以上の黒鉛化焼なまし処理を施す必要があるため、必ずしも経済的とはいえないものである。

【0006】一方、上記②の熱間加工及び焼入れ焼戻し処理を施した後、切削加工する技術として、例えば、特開平6-212347号公報に特定の化学組成を有する鋼を熱間鍛造後直ちに焼入れし、その後焼戻し処理を行ってTiCを析出させる「高疲労強度を有する熱間鍛造品及びその製造方法」が開示されている。しかしこの公報に記載の熱間鍛造品は、鋼の組成としてのN量をTi量との比率である N/Ti で0.1未満と規定しているだけであるため、必ずしも良好な靱性と被削性が確保できない場合がある。つまり、重量％で、0.01～0.20％のTiを含む鋼のN含有量を N/Ti で0.1未満と規定しただけでは、硬質のTiNが多量に形成されて靱性の劣化と被削性の劣化を生ずる場合がある。

【0007】鉄と鋼(vol.57(1971年)S484)には、脱酸調整快削鋼にTiを添加すれば被削性が高まる場合のあることが報告されている。しかし、Tiの多量の添加はTiNが多量に生成されることもあって工具摩耗を増大させ、被削性の点からは好ましくないことも述べられている。例えば、C：0.45％、Si：0.29％、Mn：0.78％、P：0.017％、S：0.041％、Al：0.006％、N：0.0087％、Ti：0.228％、O：0.004％及びCa：0.001％を含有する鋼では却ってドリル寿命が低下して被削性が劣っている。このように、鋼に単にTiを添加するだけでは被削性は向上するものではない。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記現状に鑑みなされたもので、通常の熱間加工と焼入れ焼戻しの熱処理を施すことで極めて良好な強度－靱性バランスを有し、しかも焼入れ焼戻しの各々の強度レベルで被削性が良好な、機械構造部品などの素材用として好適な鋼材を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の要旨は、下記に示す高強度高靱性調質鋼材にある。

【0010】すなわち、「重量％で、C：0.1～0.6％、Si：0.05～1.5％、Mn：0.4～2.0％、S：0.002～0.2％、Ti：0.04～1.0％、Al：0.005～0.05％、N：0.0

0.8%以下、Cr: 0~2.0%、V: 0~0.3%、Nb: 0~0.05%、Mo: 0~0.5%、Cu: 0~1.0%、Ni: 0~2.0%、B: 0~0.02%、Nd: 0~0.1%、Pb: 0~0.50%、Ca: 0~0.01%、Se: 0~0.5%、Te: 0~0.05%、Bi: 0~0.4%、下記①式で表される f_{n1} が2以上($f_{n1} \geq 2$)、残部はFe及び不可避不純物の組成であって、組織の50%以上がマルテンサイトで、且つ、旧オーステナイト粒がJIS粒度番号5以上であることを特徴とする被削性に優れた高強度高靱性調質鋼材。

【0011】 $f_{n1} = Ti(\%) / S(\%) \cdots \cdots$ ①である。

【0012】ここで、組織の割合は顕微鏡観察したときの組織割合、つまり面積率のことをいい、「旧オーステナイト粒」とは、焼入れ直前のオーステナイト粒のことをいう。更に、「調質鋼材」とは焼入れ焼戻しを施された鋼材のことをいう。したがって、上記のマルテンサイトは焼戻しを受けたマルテンサイト、つまり「焼戻しマルテンサイト」を指すが、以下において「焼戻しマルテンサイト」を単に「マルテンサイト」という。

【0013】

【発明の実施の形態】本発明者らは、調質鋼材の化学組成と組織が強度、靱性及び被削性に及ぼす影響について検討するため実験を繰り返した。その結果、先ず、Tiを添加した鋼を熱間加工した後、適正な冷却速度で冷却すれば、その後焼入れ焼戻しした場合でも鋼材の被削性が飛躍的に向上することを見いだした。そこで更に研究を続けた結果、下記の(a)~(g)の事項を知見した。

【0014】(a) Sとのバランスを考慮して鋼にTiを積極的に添加すると、鋼中にTiの炭硫化物が形成される。

【0015】(b) 鋼中に上記したTiの炭硫化物が生成すると、MnSの生成量が減少する。

【0016】(c) 鋼中のS含有量が同じ場合には、Tiの炭硫化物はMnSよりも大きな被削性改善効果を有する。これは、Tiの炭硫化物の融点がMnSのそれよりも低いため、切削加工時に工具のすくい面での潤滑作用が大きくなることに基づく。

【0017】(d) 製鋼時に生成したTiの炭硫化物は、通常の熱間加工のための加熱温度及び調質処理における通常の焼入れのための加熱温度では基地に固溶しないのでオーステナイト領域において所謂「ピンニング効果」を発揮し、オーステナイト粒の粗大化防止に有効である。

【0018】(e) Ti炭硫化物の被削性向上効果とピンニング効果を同時に得るためには前記①式の値を2以上にすることが必要である。なお、組織の50%以上がマルテンサイトである調質鋼材の場合、前記①式の値が2以上

であれば良好な強度-靱性バランスと被削性を確保することができる。

【0019】(f) Tiの炭硫化物の効果を充分発揮させるためには、N含有量を低く制限することが重要である。これは、N含有量が多いとTiNとしてTiが固定されてしまい、Tiの炭硫化物の生成が抑制されてしまうためである。

【0020】(g) N量を規制した鋼に適正量のTiを含有させて熱間加工の条件を適正化すれば、組織の50%以上がマルテンサイトである調質鋼材の靱性を飛躍的に向上させることができる。これは、熱間加工における加熱時に未固溶で存在するTi炭硫化物によってオーステナイト粒の成長が抑制されるために熱間加工後に微細な組織が得られ、熱間加工組織が微細であれば、焼入れのための加熱で生ずるオーステナイト粒も微細になるので、この組織の微細化によって強靱化することに基づくものである。なお、前記①式の値が2.5以上の場合にはMnSがほぼ消失するとともにTi量にともなってTiCの生成量が増加し、このTiCもオーステナイト領域でのピンニング効果を有するので熱間加工後の組織は一層微細化する。このため、焼入れのための加熱で生ずるオーステナイト粒も一層微細になるので、上記の調質鋼材においては、前記①式の値が2.5以上であれば極めて良好な強度-靱性バランスと被削性を確保することができる。

【0021】本発明は上記の知見に基づいて完成されたものである。

【0022】以下、本発明の各要件について詳しく説明する。なお、成分含有量の「%」は「重量%」を意味する。

【0023】(A) 鋼材の化学組成

C: 0.1~0.6%

Cは、強度を確保するのに有効な元素である。更に、Tiと結合してTiCとして析出し、析出強化によって疲労強度をも向上させる作用がある。前記の効果を確保するためにCは0.1%以上の含有量を必要とする。しかし、0.6%を超えて含有すると靱性の低下を招く。したがって、Cの含有量を0.1~0.6%とした。

【0024】Si: 0.05~1.5%

Siは、鋼の脱酸及び鋼の焼入れ性を高める作用を有する。更に、Si含有量の増加に伴い切削時の切り屑表面の潤滑作用が高まって工具寿命が延びるので、被削性を改善する作用も有する。しかしその含有量が0.05%未満では添加効果に乏しく、一方、1.5%を超えると前記効果が飽和するばかりか被削性が劣化するようになるので、その含有量を0.05~1.5%とした。

【0025】Mn: 0.4~2.0%

Mnは、鋼の焼入れ性を高めるとともに固溶強化によって疲労強度を向上させる効果を有する。しかし、その含有量が0.4%未満では所望の効果が得られず、2.0

10

20

30

40

50

%を超えるとこの効果が飽和するだけでなく、むしろ硬くなりすぎて靱性が低下するようになる。したがって、Mnの含有量を0.4~2.0%とした。

【0026】S: 0.002~0.2%

Sは、CとともにTiと結合してTiの炭硫化物を形成し、被削性を高める作用を有する。しかし、その含有量が0.002%未満では所望の効果が得られない。一方、0.2%を超えるとMnSが過剰に生成するのでTi炭硫化物による被削性向上効果が低下してしまう。したがって、Sの含有量を0.002~0.2%とした。

【0027】Ti: 0.04~1.0%

Tiは本発明において重要な元素であって、C及びSと結合してTiの炭硫化物を形成し、被削性を高める作用を有する。加えて、既述のようにTiCはオーステナイト領域でピンニング効果を有し、オーステナイト粒の粗大化が防止できる。しかし、その含有量が0.04%未満では所望の効果が得られない。一方、1.0%を超えて含有させてもTi炭硫化物による被削性向上効果が飽和してコストが高くなるばかりか、炭硫化物が粗大化して却って靱性の低下を招く。したがって、Tiの含有量を0.04~1.0%とした。なお、良好な被削性と靱性を安定して得るためには、Tiの含有量を0.06~0.8%とすることが好ましい。

Al: 0.005~0.05%

Alは、強力な脱酸作用を持つ元素である。その効果を確保するためには0.005%以上の含有量を必要とする。しかし、0.05%を超えて含有させてもその効果が飽和しコストが高くなるばかりである。したがって、Alの含有量を0.005~0.05%とした。

【0028】N: 0.008%以下

本発明においてはNの含有量を低く制御することが極めて重要である。すなわち、NはTiとの親和力が大きいために容易にTiと結合してTiNを生成し、Tiを固定してしまうので、Nを多量に含有する場合には前記したTiの炭硫化物の被削性向上効果が十分に発揮できないこととなる。更に、粗大なTiNは靱性を低下させる。N含有量が0.008%以下で、且つ前述の式①で表される f_{n1} が2以上の場合に前記したTi炭硫化物の効果が確保される。なお、Ti炭硫化物の効果を高めるために、N含有量の上限は0.006%とすることが好ましい。

【0029】Cr: 0~2.0%

Crは添加しなくてもよい。添加すれば、鋼の焼入れ性を高めるとともに固溶強化によって疲労強度を向上させる効果がある。こうした効果を確実に得るには、Crは0.03%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が2.0%を超えると前記の効果が飽和するだけでなく、むしろ硬くなりすぎて靱性が低下するようになる。このため、Crの含有量を0~2.0%とした。

【0030】V: 0~0.3%

Vは添加しなくても良い。添加すれば、微細な窒化物や炭窒化物として析出し、鋼の強度、特に疲労強度を向上させる効果を有する。この効果を確実に得るには、Vは0.05%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.3%を超えると析出物が粗大化するので前記の効果が飽和したり、却って低下したりする。更に、原料コストも嵩むばかりである。したがって、Vの含有量を0~0.3%とした。

10 【0031】Nb: 0~0.05%

Nbは添加しなくても良い。添加すれば、微細な窒化物や炭窒化物として析出し、オーステナイト粒の粗大化を防止するとともに、鋼の強度、特に疲労強度と靱性とを向上させる効果を有する。この効果を確実に得るには、Nbは0.005%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.05%を超えると前記の効果が飽和するばかりか、粗大な炭窒化物が生じて工具を損傷し、被削性の低下を招く。したがって、Nbの含有量を0~0.05%とした。

20 【0032】Mo: 0~0.5%

Moは添加しなくても良い。添加すれば、鋼の焼入れ性を高める効果を有する。この効果を確実に得るには、Moの含有量は0.05%以上とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.5%を超えるとこの効果が飽和するだけでなく、むしろ硬くなりすぎて靱性が低下するようになるし、コストも嵩んでしまう。このため、Moの含有量を0~0.5%とした。

【0033】Cu: 0~1.0%

30 Cuは添加しなくても良い。添加すれば、靱性を低下させることなく鋼の強度を高め、更に被削性を高める効果を有する。この効果を確実に得るには、Cuは0.2%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が1.0%を超えると熱間加工性が劣化することに加えて、析出物が粗大化して前記の効果が飽和したり却って低下したりする。更に、コストも嵩むばかりである。したがって、Cuの含有量を0~1.0%とした。

【0034】Ni: 0~2.0%

40 Niは添加しなくても良い。添加すれば、鋼の焼入れ性を向上させる効果を有する。この効果を確実に得るには、Niの含有量は0.02%以上とすることが好ましい。しかし、その含有量が2.0%を超えるとこの効果が飽和するのでコストが高くなる。このため、Niの含有量を0~2.0%とした。

【0035】B: 0~0.02%

50 Bは添加しなくても良い。添加すれば、焼入れ性が向上して鋼の強度、靱性を向上させる効果を有する。この効果を確実に得るには、Bの含有量は0.0003%以上とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.02%を超えると前記の効果が飽和したり、却って靱性が低下したりする。このため、Bの含有量を0~0.02%

とした。

【0036】Nd:0~0.1%

Ndは添加しなくても良い。添加すれば、Nd₂S₃としてチップブレーカーの作用を有し被削性を向上させる効果を有する。更に、Nd₂S₃が溶鋼の比較的高温域で微細に分散して生成することによって、MnSが微細に分散析出し、この微細に分散析出したMnSのピンニング効果により後工程での熱間加工や焼入れのための加熱時におけるオーステナイト粒の成長が抑制されて組織が微細化し、鋼が高強度・高靱性化する効果もある。前記の効果を確実に得るには、Ndは0.005%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.1%を超えるとNd₂S₃自体が粗大化して却って靱性の低下をきたす。したがって、Ndの含有量を0~0.1%とした。なお、Nd含有量の好ましい上限値は0.08%である。

【0037】Pb:0~0.50%

Pbは添加しなくても良い。添加すれば、鋼の被削性を一段と高める作用がある。この効果を確実に得るには、Pbは0.05%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.50%を超えると前記の効果が飽和するばかりか、却って粗大介在物を生成して疲労強度の低下をきたす。更に、Pbの多量添加は熱間加工性の劣化を招き、特に含有量が0.50%を超えると熱間加工した鋼材の表面に疵が生じてしまう。この疵を除去しなければ焼入れ時に焼割れの起点となるため、疵手入れという面からもコストが高んでしまう。したがって、Pbの含有量を0~0.50%とした。

【0038】Ca:0~0.01%

Caは添加しなくても良い。添加すれば、鋼の被削性を大きく高める作用がある。この効果を確実に得るには、Caは0.001%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.01%を超えると前記の効果が飽和するばかりか、却って粗大介在物を生成して疲労強度の低下をきたす。したがって、Caの含有量を0~0.01%とした。

【0039】Se:0~0.5%

Seは添加しなくても良い。添加すれば、鋼の被削性を一段と向上させる効果を有する。この効果を確実に得るには、Seは0.1%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.5%を超えると前記の効果が飽和するばかりか、却って粗大介在物を生成して疲労強度の低下をきたす。したがって、Seの含有量を0~0.5%とした。

【0040】Te:0~0.05%

Teも添加しなくても良い。添加すれば、鋼の被削性を一段と高める効果を有する。この効果を確実に得るには、Teは0.005%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.05%を超えると前記の効果が飽和するばかりか、却って粗大介在物を生成し

て疲労強度の低下をもたらす。更に、Teの多量添加は熱間加工性の劣化を招き、特に含有量が0.05%を超えると熱間加工した鋼材の表面に疵が生じてしまう。この疵を除去しなければ焼入れ時に焼割れの起点となるため、疵手入れという面からもコストが高んでしまう。したがって、Teの含有量を0~0.05%とした。

【0041】Bi:0~0.4%

Biは添加しなくても良い。添加すれば、鋼の被削性を大きく向上させる効果を有する。この効果を確実に得るには、Biは0.05%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.4%を超えると前記の効果が飽和するばかりか、却って粗大介在物を生成して疲労強度の低下をきたす。更に、熱間加工性が劣化するので、熱間加工した鋼材の表面に疵が生じてしまう。この疵を除去しなければ焼入れ時に焼割れの起点となるため、疵手入れという面からのコストアップにつながる。したがって、Biの含有量を0~0.4%とした。

【0042】f_{n1}:2以上

N含有量が0.008%以下で、前述の①式で表されるf_{n1}が2以上(f_{n1}≥2)の場合にTi炭硫化物の被削性向上効果とピンニング効果を同時に確保することができる。更に、①式の値が2以上であれば、組織の50%以上がマルテンサイトである調質鋼材において、極めて良好な強度-靱性バランスと被削性とを確保することもできる。

【0043】f_{n1}が2未満(f_{n1}<2)の場合は、S量が過剰となるためMnSが過剰生成してTi炭硫化物による被削性向上効果が低下するとともに、熱間加工のための加熱時にいずれも未固溶で存在するTiCと、MnSよりも微細に分散生成するTi炭硫化物が減少してしまい、オーステナイト粒ピンニング効果が充分に得られず組織が粗大化してしまう。このため、焼入れ焼戻し後の強度と靱性が低下してしまう。

【0044】なお、既に述べたように前記①式の値が2.5以上の場合にはMnSがほぼ消失するとともにTi量にともなうTiCの生成量が増加し、このTiCもオーステナイト領域でのピンニング効果を有するので熱間加工組織、ひいては焼入れ組織が一層微細化する。このため、組織の50%以上がマルテンサイトである調質鋼材においては、前記①式の値が2.5以上であれば極めて良好な強度-靱性バランスを確保することができるので、f_{n1}≥2.5とすることが好ましい。このf_{n1}の値の上限は特に規定されるものではなく、Tiが1.0%でSが0.002%の場合の値の500であっても良い。

【0045】なお、Pは粒界偏析を起こして靱性を著しく劣化させるので、本発明鋼中の不純物元素としてのPは、鋼の靱性確保の点から0.05%以下とすることが好ましい。

【0046】(B)鋼材の組織

上記の化学組成を有する鋼の被削性をTi炭硫化物によって高めるとともに極めて良好な強度－靱性バランスをも確保するためには、焼入れ焼戻し後の鋼材を50%以上がマルテンサイトで、且つ、旧オーステナイト粒がJIS粒度番号5以上の組織である「調質鋼材」とする必要がある。

【0047】上記「調質鋼材」の具体的な製造方法としては例えば、鋼片を1050～1300℃に加熱してから1.5以上の成形比で熱間鍛造などの熱間加工を行い、900℃以上の温度で仕上げた後、60℃/分以下の冷却速度で少なくとも300℃まで空冷あるいは放冷し、次いで、800℃～950℃の温度域に加熱して20～150分保持した後で水や油などの冷却媒体を用いて焼入れし、更に、400～700℃の温度域に加熱して20～150分保持してから2℃/分以上の冷却速度で空冷、放冷、場合によっては水冷、油冷して焼戻しするような処理がある。更に、上記の焼入れ処理として、熱間加工後にオーステナイト領域又はオーステナイトとフェライトの2相領域からそのまま焼入れする、所謂「直接焼入れ」を用いる製造方法もある。

【0048】なお、上記の「成形比」とは A_0 を加工前の断面積、 A を加工後の断面積とした場合の (A_0/A) のことを指す。更に、「冷却速度」とは鋼材表面の冷却速度を指す。

【0049】前記(A)の化学組成は上記の条件で鋼材を熱間加工、焼入れすれば所望の組織(50%以上がマルテンサイトで、且つ、旧オーステナイト粒がJIS粒度番号5以上である組織)が得られるように配慮されたものである。

【0050】なお、既に述べたように「旧オーステナイト粒」とは、焼入れ直前のオーステナイト粒のことをいう。本発明で規定する調質鋼材の場合には、例えば、鋼材を焼入れした後、又は鋼材を焼入れ焼戻した後に試料を切り出し、界面活性剤を添加したピクリン酸系の水

溶液で腐食して光学顕微鏡で観察することによって、前記の旧オーステナイト粒を容易に判定することができる。

【0051】高い被削性と良好な強度－靱性バランスをより安定して確保するためには組織の80%以上がマルテンサイトで、旧オーステナイト粒はJIS粒度番号6以上であることが好ましい。なお、組織におけるマルテンサイト以外の残りの部分は、焼入れ処理でオーステナイトから変態したフェライト、パーライト及びベイナイトが焼戻しを受けた組織、オーステナイトとフェライトの2相領域から焼入れた場合のフェライトが焼戻しを受けた組織や、焼入れ処理しても変態せずに残ったオーステナイト(所謂「残留オーステナイト」)が焼戻しを受けた組織である。実質的に組織の100%がマルテンサイトであっても良い。

【0052】本発明に係る調質鋼材が前記の組織を有するとともに、Ti炭硫化物に関して、その最大直径(個々のTi炭硫化物における最も長い径)が10μm以下で、且つ、その量が清浄度で0.05%以上である場合には、一層の優れた強度－靱性バランスと良好な被削性とが得られる。

【0053】

【実施例】

(実施例1)表1～4に示す化学組成の鋼を150kg真空溶解炉を用いて溶製した。なお、Ti酸化物の生成を防ぐために、Si及びAlで充分脱酸し種々の元素を添加した最後にTiを添加して、Ti炭硫化物のサイズと清浄度を調整するようにした。

【0054】表1、表2における鋼1～24は本発明例の鋼、表3、表4における鋼25～48は成分のいずれかが本発明で規定する含有量の範囲から外れた比較例の鋼である。

【0055】

【表1】

10

20

30

表 1

| 区 分 | 鋼 | 化 学 組 成 (重量%) | | | | | | | | | | | | | | 残部: Fe 及び不純物 | | | | | | | |
|----------------------|----|---------------|------|------|-------|------|-------|--------|------|---|-------|------|----|------|--------|--------------|----|----|----|----|----|-------|------|
| | | C | Si | Mn | S | Ti | Al | N | Cr | V | Nb | Mo | Cu | Ni | B | Nd | Pb | Ca | Se | Te | Bi | P | fnl |
| 本 発 明 例 | 1 | 0.40 | 0.22 | 1.90 | 0.031 | 0.80 | 0.016 | 0.0025 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.026 | 26.1 |
| | 2 | 0.41 | 0.80 | 1.62 | 0.058 | 0.44 | 0.043 | 0.0031 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.033 | 7.6 |
| | 3 | 0.20 | 0.68 | 1.17 | 0.099 | 0.28 | 0.013 | 0.0029 | - | - | - | - | - | - | 0.0010 | - | - | - | - | - | - | 0.033 | 2.9 |
| | 4 | 0.37 | 0.75 | 1.47 | 0.047 | 0.63 | 0.013 | 0.0045 | - | - | - | - | - | - | 0.0016 | - | - | - | - | - | - | 0.035 | 13.4 |
| | 5 | 0.39 | 1.13 | 1.06 | 0.070 | 0.85 | 0.027 | 0.0022 | - | - | - | - | - | - | 0.0013 | - | - | - | - | - | - | 0.033 | 12.1 |
| | 6 | 0.15 | 0.91 | 1.84 | 0.154 | 0.53 | 0.028 | 0.0031 | - | - | - | - | - | - | 0.0011 | - | - | - | - | - | - | 0.039 | 3.4 |
| | 7 | 0.42 | 1.01 | 0.63 | 0.111 | 0.34 | 0.038 | 0.0036 | - | - | - | - | - | - | 0.0015 | - | - | - | - | - | - | 0.032 | 3.0 |
| | 8 | 0.32 | 1.00 | 1.15 | 0.046 | 0.60 | 0.040 | 0.0047 | - | - | - | - | - | - | 0.0014 | - | - | - | - | - | - | 0.033 | 13.0 |
| | 9 | 0.55 | 1.05 | 1.34 | 0.144 | 0.48 | 0.023 | 0.0036 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.040 | 3.4 |
| | 10 | 0.31 | 1.30 | 1.15 | 0.162 | 0.56 | 0.038 | 0.0045 | - | - | - | - | - | - | 0.0017 | - | - | - | - | - | - | 0.040 | 3.4 |
| | 11 | 0.42 | 0.27 | 0.79 | 0.020 | 0.16 | 0.033 | 0.0045 | 0.98 | - | - | 0.21 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.037 | 8.4 |
| | 12 | 0.35 | 0.91 | 1.10 | 0.046 | 0.21 | 0.040 | 0.0021 | - | - | 0.032 | - | - | 0.90 | - | - | - | - | - | - | - | 0.030 | 4.5 |
| fnl = Ti (%) / S (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

【0056】

* * 【表2】

表 2

| 区 分 | 鋼 | 化 学 組 成 (重量%) | | | | | | | | | | | | | | 残部: Fe 及び不純物 | | | | | | | |
|----------------------|----|---------------|------|------|-------|------|-------|--------|------|------|-------|------|------|------|--------|--------------|------|-------|------|------|------|-------|------|
| | | C | Si | Mn | S | Ti | Al | N | Cr | V | Nb | Mo | Cu | Ni | B | Nd | Pb | Ca | Se | Te | Bi | P | fnl |
| 本 発 明 例 | 13 | 0.38 | 0.23 | 1.33 | 0.045 | 0.39 | 0.013 | 0.0046 | - | 0.23 | - | - | - | - | 0.0020 | - | - | - | - | - | - | 0.030 | 8.5 |
| | 14 | 0.48 | 0.30 | 1.21 | 0.039 | 0.10 | 0.017 | 0.0041 | 1.07 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.032 | 2.6 |
| | 15 | 0.23 | 0.49 | 1.17 | 0.180 | 0.34 | 0.043 | 0.0029 | - | 0.27 | 0.033 | 0.34 | - | - | - | 0.05 | - | - | - | - | - | 0.029 | 2.1 |
| | 16 | 0.44 | 0.83 | 1.13 | 0.057 | 0.19 | 0.040 | 0.0028 | 0.78 | - | - | - | - | 0.52 | - | - | - | - | - | - | - | 0.033 | 3.3 |
| | 17 | 0.36 | 1.19 | 0.58 | 0.072 | 0.90 | 0.012 | 0.0026 | - | - | - | 0.34 | - | - | 0.0002 | - | 0.07 | - | - | - | - | 0.031 | 12.4 |
| | 18 | 0.26 | 1.16 | 0.64 | 0.014 | 0.21 | 0.016 | 0.0044 | 1.70 | - | - | - | 0.25 | - | 0.0080 | - | - | 0.004 | - | - | - | 0.033 | 14.9 |
| | 19 | 0.19 | 1.15 | 1.33 | 0.022 | 0.33 | 0.015 | 0.0026 | - | 0.17 | - | - | - | - | 0.0175 | 0.08 | - | - | 0.43 | - | - | 0.037 | 14.9 |
| | 20 | 0.36 | 0.73 | 1.53 | 0.072 | 0.82 | 0.017 | 0.0030 | 1.56 | - | 0.022 | 0.39 | - | - | - | - | - | - | - | 0.02 | - | 0.032 | 11.4 |
| | 21 | 0.32 | 0.82 | 1.41 | 0.105 | 0.22 | 0.022 | 0.0022 | - | 0.16 | - | - | 0.62 | - | 0.0061 | 0.07 | - | - | - | - | 0.14 | 0.037 | 2.1 |
| | 22 | 0.55 | 0.68 | 1.30 | 0.064 | 0.60 | 0.029 | 0.0050 | 0.83 | 0.02 | - | - | 0.83 | - | - | 0.07 | 0.22 | 0.003 | - | - | - | 0.032 | 9.3 |
| | 23 | 0.22 | 1.13 | 0.73 | 0.177 | 0.80 | 0.032 | 0.0023 | - | - | - | 0.16 | - | - | 0.0056 | 0.07 | 0.32 | - | - | 0.01 | 0.16 | 0.033 | 4.5 |
| | 24 | 0.20 | 0.90 | 1.11 | 0.191 | 0.56 | 0.022 | 0.0023 | 0.77 | - | - | - | 0.74 | - | - | 0.06 | - | 0.003 | 0.41 | - | - | 0.036 | 2.9 |
| fnl = Ti (%) / S (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

【0057】

※ ※ 【表3】

表 3

| 区 分 | 銅 | 化 学 組 成 (重量%) | | | | | | | | | | | | | | 残部: Fe及び不純物 | | | | | | | |
|-------------|----|---------------|------|------|-------|------|-------|--------|------|------|----|----|----|------|--------|-------------|----|----|----|----|----|-------|-----------------|
| | | C | Si | Mn | S | Ti | Al | N | Cr | V | Nb | Mo | Cu | Ni | B | Nd | Pb | Ca | Se | Te | Bi | P | f _{n1} |
| 比 較 例 | 25 | 0.61 | 0.71 | 0.75 | 0.044 | 0.22 | 0.029 | 0.0033 | - | - | - | - | - | - | 0.0016 | - | - | - | - | - | - | 0.032 | 4.9 |
| | 26 | 0.49 | 0.03 | 1.06 | 0.170 | 0.83 | 0.012 | 0.0032 | - | - | - | - | - | - | 0.0013 | - | - | - | - | - | - | 0.031 | 4.9 |
| | 27 | 0.51 | 1.66 | 1.69 | 0.085 | 0.40 | 0.027 | 0.0042 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.037 | 4.2 |
| | 28 | 0.41 | 1.01 | 0.31 | 0.090 | 0.63 | 0.018 | 0.0026 | 0.52 | - | - | - | - | - | 0.0180 | - | - | - | - | - | - | 0.037 | 7.0 |
| | 29 | 0.50 | 0.89 | 2.15 | 0.068 | 0.31 | 0.031 | 0.0046 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.039 | 4.5 |
| | 30 | 0.33 | 0.97 | 0.69 | 0.001 | 0.15 | 0.030 | 0.0027 | - | 0.07 | - | - | - | - | 0.0017 | - | - | - | - | - | - | 0.039 | 167.1 |
| | 31 | 0.56 | 0.58 | 0.83 | 0.217 | 0.47 | 0.013 | 0.0025 | - | - | - | - | - | - | 0.0015 | - | - | - | - | - | - | 0.040 | 2.2 |
| | 32 | 0.42 | 1.07 | 1.91 | 0.192 | 0.03 | 0.020 | 0.0023 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.036 | 0.2 |
| | 33 | 0.26 | 0.65 | 1.25 | 0.095 | 1.14 | 0.022 | 0.0033 | - | 0.14 | - | - | - | - | 0.0012 | - | - | - | - | - | - | 0.034 | 12.0 |
| | 34 | 0.45 | 1.23 | 1.39 | 0.050 | 0.44 | 0.023 | 0.0109 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.034 | 8.8 |
| 例 | 35 | 0.32 | 1.20 | 1.23 | 0.083 | 0.27 | 0.013 | 0.0049 | 2.06 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.033 | 3.2 |
| | 36 | 0.20 | 0.56 | 1.64 | 0.041 | 0.84 | 0.011 | 0.0049 | - | 0.32 | - | - | - | 0.20 | - | - | - | - | - | - | - | 0.032 | 20.4 |

f_{n1} = Ti (%) / S (%)。アンダーラインは本発明の範囲から外れていることを示す。

【0058】

* * 【表4】

表 4

| 区 分 | 銅 | 化 学 組 成 (重量%) | | | | | | | | | | | | | | 残部: Fe及び不純物 | | | | | | | |
|-------------|----|---------------|------|------|-------|------|-------|--------|------|------|-------|------|------|----|--------|-------------|-------|----|------|------|------|-------|-----------------|
| | | C | Si | Mn | S | Ti | Al | N | Cr | V | Nb | Mo | Cu | Ni | B | Nd | Pb | Ca | Se | Te | Bi | P | f _{n1} |
| 比 較 例 | 37 | 0.36 | 1.13 | 1.43 | 0.042 | 0.64 | 0.045 | 0.0042 | 0.30 | - | 0.056 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.032 | 15.1 |
| | 38 | 0.34 | 1.21 | 0.97 | 0.147 | 0.83 | 0.018 | 0.0038 | - | - | - | 0.54 | - | - | 0.0014 | - | - | - | - | - | - | 0.037 | 5.7 |
| | 39 | 0.55 | 1.04 | 0.66 | 0.181 | 0.78 | 0.016 | 0.0023 | - | - | - | - | 1.05 | - | 0.0013 | - | - | - | - | - | - | 0.032 | 4.3 |
| | 40 | 0.32 | 1.06 | 1.08 | 0.169 | 0.86 | 0.036 | 0.0021 | - | - | 0.030 | - | - | - | 0.0210 | - | - | - | - | - | - | 0.038 | 5.1 |
| | 41 | 0.21 | 0.76 | 1.80 | 0.014 | 0.83 | 0.033 | 0.0040 | 0.26 | 0.08 | - | 0.08 | - | - | - | 0.12 | - | - | - | - | - | 0.042 | 60.7 |
| | 42 | 0.35 | 1.18 | 1.53 | 0.036 | 0.72 | 0.031 | 0.0020 | - | 0.11 | - | - | - | - | - | 0.52 | - | - | - | - | - | 0.039 | 20.3 |
| | 43 | 0.41 | 0.97 | 0.78 | 0.181 | 0.77 | 0.011 | 0.0036 | 0.95 | - | - | - | - | - | - | - | 0.011 | - | - | - | - | 0.032 | 4.3 |
| | 44 | 0.41 | 0.73 | 0.76 | 0.181 | 0.66 | 0.027 | 0.0035 | 1.09 | - | - | 0.22 | - | - | - | - | - | - | 0.51 | - | - | 0.038 | 4.1 |
| | 45 | 0.40 | 1.16 | 0.61 | 0.106 | 0.28 | 0.018 | 0.0037 | - | 0.13 | - | - | - | - | 0.0018 | - | - | - | - | 0.06 | - | 0.031 | 2.6 |
| | 46 | 0.58 | 0.86 | 0.94 | 0.196 | 0.65 | 0.043 | 0.0039 | - | - | - | - | - | - | 0.0012 | - | - | - | - | - | 0.43 | 0.032 | 3.3 |
| 例 | 47 | 0.34 | 1.21 | 1.03 | 0.091 | 0.05 | 0.022 | 0.0044 | 0.21 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.041 | 0.6 |
| | 48 | 0.56 | 0.16 | 1.95 | 0.096 | 0.15 | 0.016 | 0.0021 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.038 | 1.6 |

f_{n1} = Ti (%) / S (%)。アンダーラインは本発明の範囲から外れていることを示す。

【0059】次いで、これらの銅を1250℃に加熱してから1000℃で仕上げる熱間鍛造を行って直径20mmの丸棒を作製した。なお、銅11、銅14、銅16、銅18、銅20、銅22、銅27及び銅35については、銅塊を分割して上記の条件で熱間鍛造して直径20mm及び直径60mmの丸棒を作製した。

【0060】熱間鍛造後の冷却条件を冷却速度が5～3※50

※5℃/分となるように空冷又は放冷して300℃まで冷却した。その後各銅について表5、表6に示すような焼入れ焼戻し処理を行った。なお、表5、6に記載の加熱温度からの焼入れはオーステナイト領域からの焼入れである。

【0061】

【表5】

表 5

| 区 分 | 鋼 の 直 径 (mm) | 焼 入 れ 条 件 | | | | 焼 戻 し 条 件 | | | |
|------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|------------|-------------------|-------------------|------------|-----|--|
| | | 加 熱 温 度 (℃) | 加 熱 時 間 (分) | 冷 却 媒 体 | 加 熱 温 度 (℃) | 加 熱 時 間 (分) | 冷 却 条 件 | | |
| 本 発 明 例 | 1 | 20 | 8 5 0 | 6 0 | 水 | 5 3 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 2 | 20 | 8 5 0 | 6 0 | 水 | 5 3 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 3 | 20 | 8 7 0 | 6 0 | 水 | 5 3 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 4 | 20 | 8 5 0 | 6 0 | 水 | 5 3 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 5 | 20 | 8 8 0 | 6 0 | 水 | 5 3 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 6 | 20 | 8 5 0 | 6 0 | 水 | 5 3 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 7 | 20 | 8 5 0 | 6 0 | 水 | 5 3 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 8 | 20 | 8 5 0 | 6 0 | 水 | 5 3 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 9 | 20 | 8 5 0 | 6 0 | 水 | 5 3 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 10 | 20 | 8 8 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 11 | 20 | 8 5 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 12 | 20 | 8 5 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 13 | 20 | 8 5 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 14 | 20 | 8 5 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 15 | 20 | 9 0 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 16 | 20 | 8 5 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 17 | 20 | 8 7 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 18 | 20 | 8 8 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 19 | 20 | 8 9 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 20 | 20 | 8 5 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 21 | 20 | 8 7 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 22 | 20 | 8 5 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 23 | 20 | 8 9 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| | 24 | 20 | 8 8 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | |
| 11 | 60 | 8 5 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | | |
| 14 | 60 | 8 5 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | | |
| 16 | 60 | 8 5 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | | |
| 18 | 60 | 8 8 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | | |
| 20 | 60 | 8 5 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | | |
| 22 | 60 | 8 5 0 | 6 0 | 水 | 5 5 0 | 6 0 | 空 冷 | | |

表 6

| 区分 | 鋼種 | 丸棒の直径 (mm) | 焼入れ条件 | | | 焼戻し条件 | | |
|----|-----|------------|----------|----------|------|----------|----------|------|
| | | | 加熱温度 (℃) | 加熱時間 (分) | 冷却媒体 | 加熱温度 (℃) | 加熱時間 (分) | 冷却条件 |
| 比 | *25 | 20 | 850 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *26 | 20 | 850 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *27 | 20 | 850 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *28 | 20 | 850 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *29 | 20 | 850 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *30 | 20 | 860 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *31 | 20 | 850 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *32 | 20 | 850 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *33 | 20 | 870 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *34 | 20 | 850 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| 較 | *35 | 20 | 870 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *36 | 20 | 900 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *37 | 20 | 850 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *38 | 20 | 890 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *39 | 20 | 850 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *40 | 20 | 870 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *41 | 20 | 880 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *42 | 20 | 870 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *43 | 20 | 850 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *44 | 20 | 850 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| 例 | *45 | 20 | 870 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *46 | 20 | 850 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *47 | 20 | 870 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *48 | 20 | 850 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *27 | 60 | 850 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *35 | 60 | 870 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |

*印は本発明の条件から外れていることを示す。

【0063】上記のようにして得た直径20mmの丸棒の中心部からJIS14A号の引張試験片、小野式回転曲げ疲労試験片（平行部の直径が8mmでその長さが18.4mm）、JIS3号の2mmUノッチシャルピー衝撃試験片を採取し、室温での引張強度（TS）、疲労強度（疲労限度、 σ_w ）、シャルピー吸収エネルギー（ U_{E20} ）を調査した。

【0064】焼入れ後の直径20mmの丸棒の一部を鍛造軸に平行に中心線を通して切断して縦断試験片を採取し、鏡面研磨した被検面を塩化第2鉄・アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウムを添加したピクリン酸飽和水溶液で腐食して倍率100倍で光学顕微鏡による観察を行い旧オーステナイト粒度を測定した。

【0065】又、焼入れ焼戻し後の直径20mmの丸棒を鍛造軸に平行に中心線を通して切断して縦断試験片を採取し、鏡面研磨した被検面をナイトルで腐食して倍率100倍で光学顕微鏡観察して中心部の組織観察を行い、マルテンサイトの割合（面積率）を調査した。

【0066】被削性は鋼11、鋼14、鋼16、鋼18、鋼20、鋼22、鋼27及び鋼35の直径60mm*50

*の丸棒について、ドリル穿孔試験を行って評価した。すなわち、焼入れ焼戻しした直径60mmの丸棒を25mmの長さの輪切りにしたものをを用いて、 $R/2$ 部（ R は丸棒の半径）についてその長さ方向に貫通孔をあけ、刃先摩損により穿孔不能となった時の貫通孔の個数を数え、被削性の評価を行った。穿孔条件はJIS高速度工具鋼SKH51の $\phi 5$ mmストレートシャンクドリルを使用し、水溶性の潤滑剤を用いて、送り0.15mm/rev、回転数980rpmで行った。

【0067】なお、焼入れ後の直径60mmの丸棒の一部を鍛造軸に平行に中心線を通して切断して縦断試験片を採取し、鏡面研磨した幅が15mmで高さが20mmの被検面を前記のピクリン酸飽和水溶液で腐食して倍率100倍で光学顕微鏡による観察を行い旧オーステナイト粒度を測定した。

【0068】更に、焼入れ焼戻し後の直径60mmの丸棒を鍛造軸に平行に中心線を通して切断して縦断試験片を採取し、鏡面研磨した幅が15mmで高さが20mmの被検面をナイトルで腐食して倍率100倍で光学顕微鏡観察して $R/2$ 部の組織観察を行い、マルテンサイト

の割合（面積率）を調査した。

*ピー吸収エネルギーとの関係を示す。

【0069】表7、表8に直径20mmの丸棒に関する
各種試験結果を、表9に直径60mmの丸棒に関する各
種試験結果を示す。又、図1に各鋼の引張強度とシャル*

【0070】

【表7】

表 7

| 区 分 | 鋼 | 組 織 | | 機 械 的 性 質 | | |
|---------------------|----|-----------------------|----------------------|----------------|-----------------------|-------------------|
| | | マルテンサ イトの割合 (%) | 旧オース テナイト 粒度番号 | T S (M P a) | σ_w (M P a) | $v E_{20}$ (J) |
| 本 発 明 例 | 1 | 83 | 8 | 881 | 421 | 124 |
| | 2 | 95 | 8 | 975 | 420 | 106 |
| | 3 | 95 | 7 | 743 | 342 | 148 |
| | 4 | 98 | 8 | 914 | 448 | 117 |
| | 5 | 96 | 9 | 891 | 383 | 119 |
| | 6 | 92 | 8 | 726 | 348 | 142 |
| | 7 | 80 | 8 | 849 | 385 | 136 |
| | 8 | 96 | 8 | 849 | 367 | 125 |
| | 9 | 95 | 8 | 1039 | 469 | 97 |
| | 10 | 97 | 8 | 862 | 382 | 123 |
| | 11 | 100 | 7 | 902 | 448 | 121 |
| | 12 | 90 | 7 | 835 | 383 | 126 |
| | 13 | 95 | 8 | 1050 | 514 | 90 |
| | 14 | 100 | 6 | 1000 | 464 | 103 |
| | 15 | 90 | 8 | 1022 | 462 | 102 |
| | 16 | 100 | 7 | 1018 | 486 | 102 |
| | 17 | 100 | 9 | 747 | 374 | 137 |
| | 18 | 100 | 7 | 948 | 427 | 112 |
| | 19 | 98 | 8 | 858 | 384 | 127 |
| | 20 | 100 | 9 | 1100 | 508 | 86 |
| | 21 | 100 | 7 | 1019 | 502 | 104 |
| | 22 | 100 | 8 | 1135 | 546 | 75 |
| | 23 | 97 | 8 | 648 | 317 | 157 |
| | 24 | 98 | 8 | 835 | 418 | 126 |
| 試験片を採取した素材の直径は20mm。 | | | | | | |

【0071】

※ ※【表8】

表 8

| 区 分 | 鋼 | 組 織 | | 機 械 的 性 質 | | |
|-------------|-----|-----------------------|----------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|
| | | マルテンサ イトの割合 (%) | 旧オース テナイト 粒度番号 | T S (M P a) | σ_w (M P a) | σ_{E20} (J) |
| 比 較 例 | *25 | 97 | 6 | 875 | 339 | 78 |
| | *26 | 85 | 7 | 787 | 303 | 97 |
| | *27 | 100 | 7 | 1003 | 348 | 64 |
| | *28 | 98 | 7 | 781 | 330 | 94 |
| | *29 | 100 | 6 | 1006 | 369 | 69 |
| | *30 | 90 | 6 | 784 | 313 | 92 |
| | *31 | 96 | 7 | 842 | 329 | 85 |
| | *32 | 100 | *4 | 932 | 344 | 73 |
| | *33 | 90 | 8 | 867 | 321 | 87 |
| | *34 | 96 | 7 | 888 | 340 | 82 |
| | *35 | 100 | 6 | 1088 | 393 | 54 |
| | *36 | 97 | 7 | 1108 | 414 | 51 |
| | *37 | 95 | 7 | 876 | 313 | 87 |
| | *38 | 100 | 7 | 791 | 298 | 93 |
| | *39 | 97 | 7 | 920 | 346 | 75 |
| | *40 | 95 | 7 | 747 | 249 | 95 |
| 例 | *41 | 100 | 7 | 898 | 324 | 84 |
| | *42 | 96 | 7 | 983 | 386 | 80 |
| | *43 | 100 | 7 | 912 | 340 | 97 |
| | *44 | 100 | 7 | 929 | 342 | 93 |
| | *45 | 95 | 6 | 905 | 365 | 87 |
| | *46 | 98 | 7 | 893 | 330 | 90 |
| | *47 | 96 | *4 | 793 | 280 | 95 |
| | *48 | 97 | *4 | 971 | 337 | 74 |

*印は本発明で規定する条件から外れていることを示す。
試験片を採取した素材の直径は20mm。

【0072】

【表9】

23
表 9

| 区 分 | 鋼 | 組 織 | | 被 削 性 (貫通孔個数) |
|--------|-----|-----------------------|----------------------|------------------|
| | | マルテンサ イトの割合 (%) | 旧オース テナイト 粒度番号 | |
| 本 | 11 | 98 | 7 | 173 |
| 本 | 14 | 100 | 6 | 148 |
| 本 | 16 | 100 | 7 | 125 |
| 本 | 18 | 100 | 7 | 204 |
| 本 | 20 | 100 | 9 | 122 |
| 本 | 22 | 100 | 8 | 139 |
| 比 | *27 | 99 | 7 | 64 |
| 比 | *35 | 100 | 6 | 54 |

区分欄の「本」は本発明例、「比」は比較例を示す。
*印は本発明の規定条件から外れていることを示す。
試験片を採取した素材の直径は60mm。

*【0073】表7～9及び図1から、本発明例の鋼1～24は高い強度（引張強度と疲労強度）と大きなシャルピー吸収エネルギーを有すること、つまり強度－靱性バランスが極めて良好であることが明らかである。しかもその強度レベルにおける被削性も良好である。

【0074】これに対して比較例の鋼の場合には、強度－靱性バランスや被削性に劣っている。

【0075】（実施例2）前記の表1～4に示した鋼のうち鋼3、鋼10、鋼15、鋼17～19、鋼23、鋼24、鋼33、鋼36、鋼38、鋼41及び鋼42について、上記の実施例1で熱間鍛造して得た直径20mmの丸棒を、表10に示す条件で焼入れ焼戻し処理した。なお、表10に記載の加熱温度からの焼入れはオーステナイトとフェライトの2相領域からの焼入れである。

【0076】

【表10】

*
表 10

| 区 分 | 鋼 | 丸棒 の 直径 (mm) | 焼 入 れ 条 件 | | | 焼 戻 し 条 件 | | |
|------------------|-----|-----------------------|-------------------|-------------------|------------|-------------------|-------------------|------------|
| | | | 加 熱 温 度 (℃) | 加 熱 時 間 (分) | 冷 却 媒 体 | 加 熱 温 度 (℃) | 加 熱 時 間 (分) | 冷 却 条 件 |
| 本 発 明 例 | 3 | 20 | 850 | 60 | 水 | 530 | 60 | 空冷 |
| | 10 | 20 | 850 | 60 | 水 | 530 | 60 | 空冷 |
| | 15 | 20 | 850 | 60 | 水 | 530 | 60 | 空冷 |
| | 17 | 20 | 850 | 60 | 水 | 530 | 60 | 空冷 |
| | 18 | 20 | 850 | 60 | 水 | 530 | 60 | 空冷 |
| | 19 | 20 | 850 | 60 | 水 | 530 | 60 | 空冷 |
| | 23 | 20 | 850 | 60 | 水 | 530 | 60 | 空冷 |
| | 24 | 20 | 850 | 60 | 水 | 530 | 60 | 空冷 |
| 比 較 例 | *33 | 20 | 850 | 60 | 水 | 530 | 60 | 空冷 |
| | *36 | 20 | 850 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *38 | 20 | 850 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *41 | 20 | 850 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |
| | *42 | 60 | 850 | 60 | 水 | 550 | 60 | 空冷 |

*印は本発明の条件から外れていることを示す。

【0077】上記の焼入れ焼戻しした直径20mmの丸棒の中心部からJIS14A号の引張試験片、小野式回転曲げ疲労試験片（平行部の直径が8mmでその長さが18.4mm）、JIS3号の2mmUノッチシャルピー衝撃試験片を採取し、室温での引張強度（TS）、疲労強度（疲労限度、 σ_w ）、シャルピー吸収エネルギー（ VE_{20} ）を調査した。

【0078】焼入れ後の直径20mmの丸棒の一部を鍛造軸に平行に中心線を通して切断して縦断試験片を採取し、鏡面研磨した被検面を塩化第2鉄・アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウムを添加したピクリン酸飽和水溶※

※液で腐食して倍率100倍で光学顕微鏡による観察を行い旧オーステナイト粒度を測定した。

【0079】又、焼入れ焼戻し後の直径20mmの丸棒を鍛造軸に平行に中心線を通して切断して縦断試験片を採取し、鏡面研磨した被検面をナイトルで腐食して倍率100倍で光学顕微鏡観察して中心部の組織観察を行い、マルテンサイトの割合（面積率）を調査した。

【0080】表11に上記の各種試験結果を示す。

【0081】

【表11】

表 11

| 区分 | 鋼 | 組 織 | | 機 械 的 性 質 | | |
|------------------|-----|-----------------------|----------------------|----------------|-----------------------|-------------------|
| | | マルテンサイト の割合 (%) | 旧オース テナイト 粒度番号 | T S (M P a) | σ_w (M P a) | $v E_{20}$ (J) |
| 本 発 明 例 | 3 | 93 | 7 | 740 | 338 | 150 |
| | 10 | 92 | 8 | 837 | 360 | 126 |
| | 15 | 75 | 8 | 998 | 448 | 100 |
| | 17 | 98 | 9 | 740 | 372 | 140 |
| | 18 | 90 | 7 | 940 | 422 | 115 |
| | 19 | 80 | 8 | 836 | 370 | 133 |
| | 23 | 80 | 8 | 620 | 308 | 158 |
| | 24 | 88 | 8 | 820 | 408 | 129 |
| 比 較 例 | *33 | 88 | 8 | 860 | 315 | 87 |
| | *36 | 80 | 7 | 1062 | 400 | 45 |
| | *38 | 90 | 7 | 785 | 293 | 93 |
| | *41 | 90 | 7 | 872 | 312 | 85 |
| | *42 | 93 | 7 | 971 | 372 | 80 |

*印は本発明で規定する条件から外れていることを示す。
試験片を採取した素材の直径は20mm。

【0082】表11から、本発明例の鋼3、鋼10、鋼15、鋼17～19、鋼23及び鋼24は2相領域から焼入れしても高い強度（引張強度と疲労強度）と大きなシャルピー吸収エネルギーを有すること、つまり強度－靱性バランスが極めて良好であることが明らかである。

【0083】これに対して比較例の鋼33、鋼36、鋼38、鋼41及び鋼42の場合には、強度－靱性バランスが劣っている。

【0084】

*【発明の効果】本発明の被削性に優れた高強度高靱性調質鋼材は極めて優れた強度－靱性バランスを有するとともに被削性にも優れているので、機械構造部品などの素材として利用することができる。この高強度高靱性調質鋼材は比較的容易に製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例1で用いた鋼1～48の引張強度とシャルピー吸収エネルギーの関係を示した図である。

*30

【図1】

